

IMPACTO MECANICO EN FRUTOS: DETERMINACION DE LA RESISTENCIA
A LA MAGULLADURA Y DE LA TEXTURA EN VARIEDADES DE PERA Y
MANZANA

Carlos García Alonso
E.T.S.I. Agrónomos
Univ. Politécnica
MADRID
ESPAÑA

Margarita Ruiz Altisent
E.T.S.I. Agrónomos
Univ. Politécnica
MADRID
ESPAÑA

Abstract

Mechanical impact in fruits: Determining bruise
resistance and texture in pear and apple varieties.

An impact detection system was fully developed to be used on horticultural products. Five fruit varieties were tested in impact: Blanquilla, Limonera and Decana de Comice pears and Golden Delicious and Starking apples during twelve weeks of cold storage and ripening room (20°C). Impacts were applied by a 50.6 g instrumented rod provided with a 19 mm ϕ spherical tip; drops from 2, 4, 6, 8, 10, 12 and 20 cm height were used in each fruit. The resulting bruise was measured and carefully inspected. A correspondence factorial analysis was applied to all impact parameters obtained. The mechanical impact parameters and bruise results could be classified into three categories depending on their correlation either with impact energy (height of drop) or with texture. The technical principles for the design of a non-destructive fruit sorter were established.

Resumen

Se presenta un completo sistema de detección para el estudio de los impactos sobre frutas y hortalizas. Se han ensayado, durante un periodo de 10 a 12 semanas de almacenamiento en cámara frigorífica y de maduración, tres variedades de peras: Blanquilla, Limonera y Decana de Comice y dos de manzanas: Golden Delicious y Starking. Los impactos se realizaron con un indentador de 50.6 g con cabeza de acero esférica de 19 mm de diámetro. Las alturas ensayadas fueron de 2 a 12 cm de dos en dos y uno complementario a 20 cm sobre cada fruto. La magulladura resultante se midió y se observó cuidadosamente su estructura. Como método de análisis estadístico se utilizó el factorial de correspondencias. Los parámetros mecánicos y la magulladura resultado de un impacto se pueden clasificar en tres categorías, en función de su correlación con la energía (altura) del impacto o con la textura de los frutos. Se han establecido los principios técnicos para el diseño de un mecanismo no destructivo de detección de la madurez de estos frutos.

1. Introducción

En los últimos años se ha planteado la necesidad de profundizar en las relaciones existentes entre los parámetros que caracterizan el impacto mecánico y la aparición y desarrollo de las magulladuras en diversos frutos. Ello se ha considerado imprescindible para poder avanzar hacia el objetivo de controlar el grave problema que supone la existencia de grandes pérdidas de calidad en las frutas de mercado por este motivo, así como en la posibilidad de la recolección mecánica de esos mismos frutos. Esto es especialmente crítico en fruta dulce destinada para el consumo en fresco.

La introducción de resistencia a la magulladura en los frutos, ya sea estructural o inducida mediante posibles tratamientos, es un objetivo posible a medio plazo. Otro objetivo, más inmediato, es orientar a los diseñadores y a los usuarios de las máquinas sobre la capacidad resistente de las distintas variedades de frutos, en función de las condiciones en que éstos se encuentren.

Los más recientes trabajos sobre impacto en frutos, (Chen et al., 1985, Chen et al., 1987, Hellebrand 1985, Ruiz et al. 1987) y una vez que se cuenta ya con dispositivos de ensayo adecuados, tratan de profundizar en las mencionadas relaciones entre el impacto y la aparición y desarrollo de las magulladuras. Muchos de los resultados publicados son poco consistentes e incluso contradictorios, lo que es debido a la gran variabilidad de los materiales y de las condiciones de los ensayos; éstos se ha demostrado que requieren gran amplitud, tanto en el diseño como en su análisis.

Existe otro punto de interés en el desarrollo de el presente trabajo. Dentro de la línea de investigación que tiene por objetivo la determinación de la madurez por métodos no destructivos, se cuenta con resultados sobre la estrecha relación existente entre determinados parámetros mecánicos obtenidos como respuesta al impacto, y las variaciones de madurez del producto (Delwiche, 1986, Nahir, 1986, Chen et al., 1987, Delwiche et al., 1988). El conocimiento de los mismos hace posible el diseño de dispositivos de control de dicha madurez.

2. Materiales y métodos

El dispositivo utilizado para los ensayos de impacto ha sido descrito básicamente en publicaciones anteriores (Ruiz et al., 1986). Sin embargo, en lo que respecta al Software éste ha sido modificado y ampliado (García, 1988) para perfeccionar la captación, transformación y representación de los parámetros mecánicos resultado del impacto. De forma complementaria se utilizó una máquina universal de ensayos INSTRON modelo 1122, además de una lupa binocular NIKON con equipo fotográfico; y una cámara de temperatura controlada -50 $+50$ $^{\circ}\text{C}$.

Se ensayaron cinco variedades de frutos, tres de pera: Limonera, Blanquilla y Decana de Comice; y dos de manzana: Golden Delicious y Starking. El diseño del experimento se corresponde con un factorial de factores fijos. El lote principal de frutos, previa selección eliminando todos aquellos que se desviaban de la media, se introdujo en cámara de conservación (0.5 a 2.5°C Peras y 0 a 3°C Manzanas). Cada dos semanas se realizaba una extracción de 30 frutos de los que se ensayaban 10 el primer día, mientras que el resto se introducía en cámara de maduración forzada a 20°C y se ensayaban en dos tandas de 10 frutos, a las 48 y 96 horas respectivamente. El periodo de ensayo total osciló entre 10 y 12 semanas. Se estudiaron 1050 impactos en las variedades de manzanas, 990 en Blanquilla y Decana y 900 en Limonera. Los impactos se realizaron entre 2 y 12 cm de altura de caída con incremento de 2 cm más uno complementario a 20 cm; el lugar seleccionado fue el plano ecuatorial correspondiente a la mitad del fruto. De la magulladura producida como resultado de un impacto se midió la anchura y la profundidad máximas de la sección (Fig.1) y se determinó, por observación directa, la estructura interna: presencia o no de discontinuidades, grietas, etc.

Entre los ensayos complementarios se realizó un Magness-Taylor (penetrometría convencional, utilizando un vástago de base plana con los bordes cónicos de 8 mm de diámetro, INSTRON) eliminando la epidermis y se determinó el peso específico de la pulpa del fruto por inmersión.

A los parámetros obtenidos se les aplicó, además de los convencionales, un nuevo análisis factorial de correspondencias (Júdez y Hugalde, 1987).

3. Resultados y discusión.

Del análisis estadístico principal se observa que pueden establecerse tres categorías de parámetros, en función de sus relaciones con los mencionados caracteres principales: a) energía total aplicada (equivalente a altura de caída) y b) estado de madurez relativa (Tabla 1).

Los parámetros incluidos en la primera categoría manifiestan una relación lineal directa con la energía máxima de impacto; los correspondientes a la segunda categoría se relacionan directamente con el estado textural de la pulpa del fruto, siendo por completo independientes del primer carácter; por último, los parámetros incluidos en la tercera, evolucionan de forma intermedia.

Entre los parámetros incluidos en la primera categoría destacan la anchura y la profundidad máximas de la magulladura observada, lo que pone de manifiesto que, para materiales iguales, el tamaño observado de la magulladura depende primordialmente de la energía de impacto aplicada; así, la geometría del indentador, para un nivel energético constante, es la que determinará el volumen de la zona afectada. Esto es especialmente interesante si tenemos en cuenta que este factor puede ser manipulado con facilidad y, por lo tanto, es posible minimizar la magulladura, siempre y cuando se trabaje con niveles energéticos inferiores a .02 Julios (según los ensayos realizados).

Desde un punto de vista práctico, la segunda categoría de parámetros, relacionados exclusivamente con las variaciones de madurez, es muy interesante. Entre todos ellos destacan los tiempo-dependientes: duración del impacto, tiempo total de contacto, y su diferencia, y los derivados de las relaciones fuerza-deformación: pendiente F/D y Módulo de elasticidad aparente. Se ha comprobado que la evolución de estos parámetros refleja exactamente el comportamiento mecánico de la pulpa durante el proceso de maduración, el cual va deteriorando la estructura resistente. Por lo tanto, una adecuada combinación de estos parámetros, a niveles energéticos no destructivos para una determinada geometría del indentador, puede detectar, con toda precisión, el estado interno de un fruto.

Mecánicamente, los parámetros incluidos en la categoría tercera, o "intermedios", parecen indicar que el fenómeno impacto-reacción (contacto-recuperación) tiene una marcada tendencia elastoplástica. Ello se manifiesta p.ej. en el comportamiento del parámetro: porcentaje de energía elástica o energía de rebote, el cual disminuye significativamente al incrementarse la energía de impacto aplicada. Ello indica que el material manifiesta un comportamiento cada vez más plástico en su respuesta a impactos crecientes.

No se han observado diferencias intervarietales apreciables entre los parámetros de la primera categoría, en consonancia con el resultado de que solamente dependen del nivel energético del impacto, y mostrando la analogía estructural de las variedades frutales estudiadas. A 4 cm de altura de impacto se observan claras diferencias en la profundidad de la magulladura entre las distintas variedades estudiadas (Figs.2 y 3). Para mayores energías de impacto, es la pera Decana la que presenta mayor profundidad de magulladura (Fig.3 y v. Fig.1). En lo que respecta a la anchura, las manzanas se destacan con mayor anchura (7-8 mm, a 4 cm) frente a las variedades de pera (1-4 mm para la misma altura), en consonancia con la forma de las mismas (Fig.1). Puede observarse que la génesis y la morfología de la magulladura en la pulpa de los frutos presenta marcadas diferencias entre las distintas variedades ensayadas. Se observa que su estructura interna depende de las características del tejido, fundamentalmente el volumen de espacios libres intercelulares, el cual determina el peso específico y el coeficiente de Poisson del mismo. En función de esta característica varietal, podemos distinguir dos tipos fundamentales de magulladuras:

a) Magulladura semi-elíptica. o aplanada. Caracterizada por un mayor desarrollo lateral que en profundidad; ello se atribuye a la gran cantidad de espacios intercelulares, los cuales permiten una fácil absorción de las deformaciones y a la vez la libre circulación de los contenidos intracelulares liberados en la rotura de las células en el momento del impacto. Este es el comportamiento típico de las variedades de manzana ensayadas.

b) Magulladura semi-circular o en profundidad. presenta un desarrollo lateral más proporcionado al desarrollo en profundidad. Cuando el volumen de espacios libres intercelulares disminuye sobremanera, la forma de la magulladura tiende a transformarse en rectangular. Aparecen típicamente en las variedades de peras; en la Decana de Comice aparecen magulladuras de este último tipo.

El estudio de las discontinuidades presentes en la zona magullada muestra claras diferencias entre los diferentes tejidos y, por lo tanto, las diferentes variedades. Mientras el volumen relativo de espacios intercelulares sea suficiente, éste es capaz de almacenar de forma instantánea (un impacto, en estas condiciones, siempre dura menos de 10 ms) los contenidos celulares (agua) que se liberan por rotura y/o extrusión de las células de la pulpa; el máximo de concentración de tensiones y deformaciones se alcanza en la denominada zona crítica, alrededor de una discontinuidad previa; la magulladura tiende a crecer lateralmente y las discontinuidades que aparecen en su interior manifiestan una

estructura horizontal. A medida que el peso específico se incrementa, estos espacios disminuyen y las dificultades para el movimiento instantáneo de los fluidos aumentan, lo que provoca la aparición de fracturas radiales por concentración de tensiones-deformaciones, a partir de la zona crítica.

Referencias

- Chen, P., Ruiz, M., Lu, F. and Kader, A.A. 1987. Study of impact and compression damage on Asian pears. Trans. ASAE 30 (4) 1193-1197.
- Chen, P., Tang, S. y Chen, S. 1985. Instrument for testing the response of fruits to impact. ASAE Paper no.85-3537.
- Delwiche, M.J. 1986. Theory of fruit firmness sorting by impact forces. ASAE Paper 86-3027.
- Delwiche, M.J., Tang, S. y Mehlschau, J.J. 1988. A fruit firmness sorting system. AgEng. Int. Conf. Paris. Paper no.88-230.
- García Alonso, C. 1988. Impacto mecánico en frutos: Técnicas de ensayo y aplicación a variedades de pera y manzana. Tesis Doctoral. Univ. Politécnica de Madrid.
- García Alonso, C., Ruiz Altisent, M. y Chen, P. 1988. Impact parameters related to bruising in selected fruits. ASAE Paper no.88-6027.
- Hellebrand, P. 1985. Mechanical Properties of plant materials under dynamic loading. Proc. of the II Phys. Prop. Int. Conf. Prague.
- Júdez, L. y Asensio, C.P. 1987. Técnicas de análisis de datos. Universidad Politécnica de Madrid. E.T.S.I. Agrónomos.
- Nahir, D., Schmilovitch, Z. y Ronen B. 1986. Tomato grading by impact force response. ASAE Paper no.86-3028.
- Ruiz Altisent, M., Gil Sierra, J., García Alonso, C. y Rodríguez Sinovas L. 1986. Daños por impacto en frutos: parámetros y métodos experimentales. Actas II Cong. de la SECH. Córdoba.
- Ruiz Altisent, M., Gil Sierra, J., Chen, P. y Lu, F. 1987. Methods for studying resistance to impact and compression in fruits. Application to four varieties of Asian pears. Actas II Cong. Mundial de Tecn. de Alimentos. Barcelona.

Agradecimientos

Al Instituto del Frío de Madrid, a Frutas Niqui de Lérida y al Comité Conjunto Hispano-Norteamericano.

Parámetro	Unidades
1ª categoría	
Deformación máxima	mm
Deformación permanente	mm
Profundidad crítica (máx. tensión cortante, Hertz)	mm
Impulso mecánico	N.s
Profundidad de la mag.	mm
Anchura de la magull.	mm
2ª categoría	
Tiempo total del impacto	ms
Tiempo final (contacto)	ms
Tiempo hasta fuerza máx.	ms
Incremento TT-TF	ms
Pendiente fuerza/def.	N/mm
Módulo ap. de elasticidad (dinámico)	Pa
Tensión cortante máx.	Pa
3ª categoría	
(intermedios)	
Porcentaje de energía de rebote	%
Fuerza del impacto	N
Pendiente fuerza/tiempo	N/s
Coefficiente calculado	N ² /s
Velocidad de rebote	m/s

Tabla 1. Parámetros de mayor interés, introducidos en el análisis de correspondencias; clasificados según su dependencia respecto de la energía de impacto (altura de caída) o de la madurez (textura).

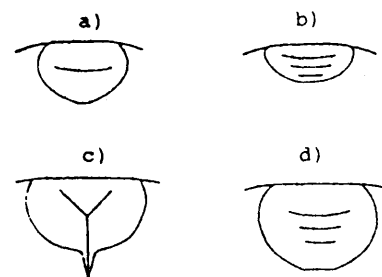
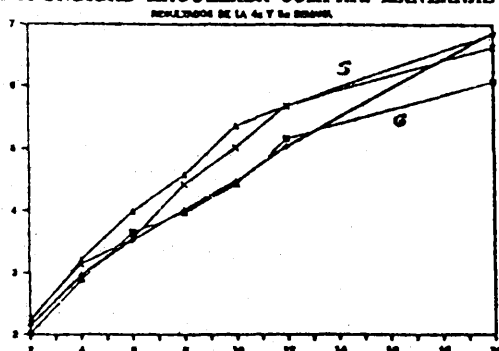


Figura 1. Tipos de magulladuras y fracturas/discontinuidades en las variedades ensayadas. 12 cm de altura de impacto. a) pera "Limonera"; b) pera "Decana"; c) manzanas "Golden" y "Starking"; d) pera "Blanquilla".

PROFUNDIDAD MAGULLADA COMPAR. MANZANAS



ANCHO DE MAGULLADURA COMPARADO MANZANAS

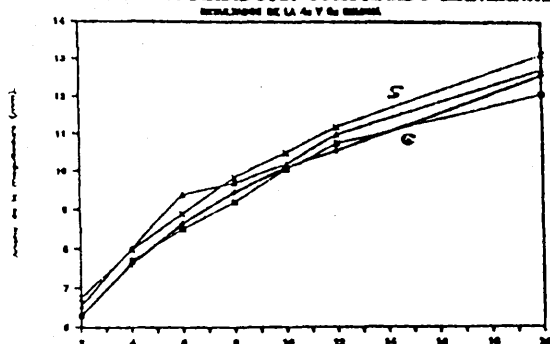


Figura 2.

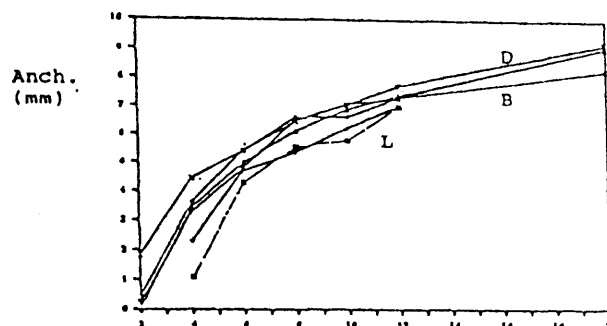
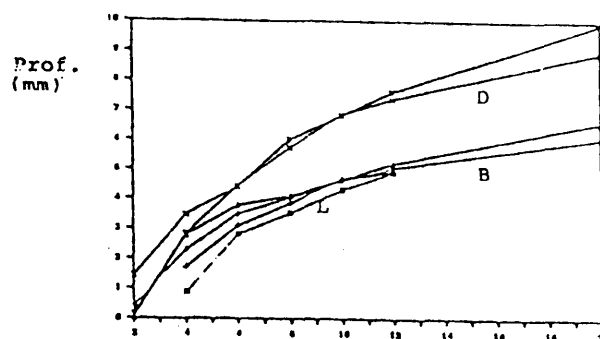


Figura 3. Profundidad y anchura de la magulladura en relación con altura de caída (2 a 20 cm); peras, semanas 6 y 8 de conservación frigorífica.